

# **METODY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI**

**Laboratorium nr 11\_3F**

Temat: **Algorytm modelowania rozmytego**

## Algorytm modelowania rozmytego

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką realizacji algorytmu modelowania rozmytego. Ćwiczenie zostanie wykonane z zastosowaniem pakietu Matlab.

### 2. Algorytm modelowania rozmytego

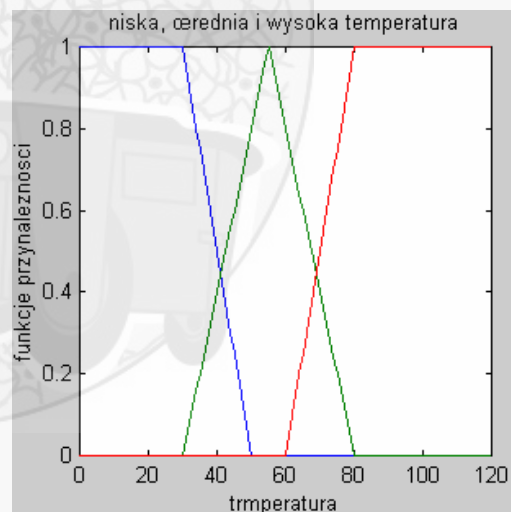
Algorytm modelowania rozmytego rozumiany jest jako procedura rozwiązania zadania sformułowanego w postaci bazy reguł typu *JEŚLI/TO* (ang. if/then). Jako przykład rozważmy rozmyte sterowanie prędkością wentylatora. Załóżmy, że system rozmyty jest opisany bazą reguł

$R_1$ : *JEŚLI* (temperatura jest „niska” ( $A_1$ )) *TO* (prędkość wentylatora jest „mała” ( $B_1$ )),  
 $R_2$ : *JEŚLI* (temperatura jest „średnia” ( $A_2$ )) *TO* (prędkość wentylatora jest „średnia” ( $B_2$ )),  
 $R_3$ : *JEŚLI* (temperatura jest „wysoka” ( $A_3$ )) *TO* (prędkość wentylatora jest „duża” ( $B_3$ )).

Ten model rozmyty składa się z 3 reguł, w których przesłanki mogą przyjmować wartości „niska”, „średnia”, „wysoka”, a konkluzje zdefiniowane są następująco: „mała”, „średnia”, duża, i są zdefiniowane odpowiednio w zadanych przestrzeniach rozważań przez zbiory rozmyte, które zostały wygenerowane wg listingu:

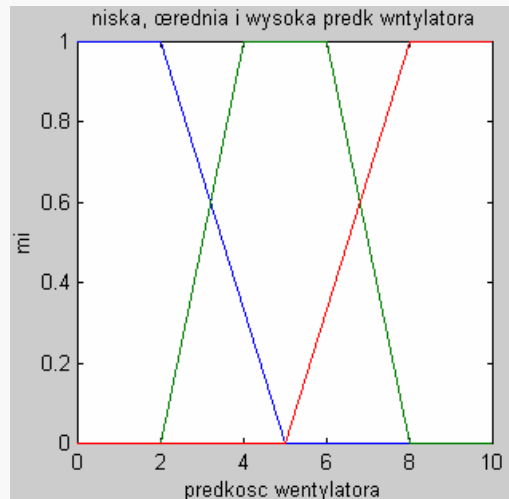
Przesłanki (poprzedniki):

```
clear all;
x = [0:1:120]; % Temperatura
y = [0:1:10]; % Predkosc wentylatora
% Temperatura
niska_mf = trapmf(x,[0 0 30 50]);
srednia_mf = trimf(x,[30 55 80]);
wysoka_mf = trapmf(x,[60 80 120 120]);
antecedent_mf = [niska_mf;srednia_mf;wysoka_mf];
plot(x,antecedent_mf)
title('niska, srednia i wysoka temperatura')
xlabel('trmperatura')
ylabel('funkcje przynalezności')
```



Konkluzje (następniki):

```
% Predkosc wentylatora
low_mf = trapmf(y,[0 0 2 5]);
medium_mf = trapmf(y,[2 4 6 8]);
high_mf = trapmf(y,[5 8 10 10]);
consequent_mf = [low_mf;medium_mf;high_mf];
plot(y,consequent_mf)
title('niska, średnia i wysoka predk wntylatora')
xlabel('predkosc wentylatora')
ylabel('mi')
```



Mając zdefiniowane zbiory rozmyte przesłanek i następników bazy reguł możemy zbudować model rozmyty wg następujących kroków:

1. Rozmywanie (fuzyfikacja).
2. Określenie funkcji (relacji) spełnienia przesłanek (operatory *MIN* lub *PROD*).
3. Dokonanie wnioskowania rozmytego (inferencja) (operatory *MIN* lub *PROD*).
  - 3.1. Inferencja w regułach.
  - 3.2. Złożeniowa reguła wnioskowania - agregacja konkluzji składowych.
4. Defuzyfikacja (wyostrzenie).

#### Ad.1. Rozmywanie

Założmy, że wejście modelu jest singletonem. Niech wartość wejścia wynosi (Temperatura) = 72. Wyjściem procesu rozmywania są stopnie spełnienia przesłanek w regułach i wynoszą

```
temp = 72;
dof1 = cool_mf(find(x==temp));
dof2 = moderate_mf(find(x == temp));
dof3 = hot_mf(find(x == temp));
DOF = [dof1;dof2;dof3]
```

Stosując powyższą procedurę otrzymano następujące wartości stopni spełnienia przesłanek:

$$\begin{aligned}\mu_{A1^*}(y) &= 0.0, \\ \mu_{A2^*}(y) &= 0.32, \\ \mu_{A3^*}(y) &= 0.6.\end{aligned}$$

Ad.2. W przypadku zastosowania złożonych przesłanek w bazie reguł modelu rozmytego konieczne jest określenie funkcji spełnienia przesłanek z zastosowaniem operatorów *MIN* lub *PROD*.

#### Ad.3. Rozmyte wnioskowanie

Stosując rozmytą regułę wnioskowania *modus ponens* na wyjściu bloku wnioskowania otrzymujemy:

- a) trzy zbiory rozmyte,  $j=3$ , gdzie konkretna postać funkcji  $\mu_{Bj^*}(y)$  zależy od przyjętej T-normy oraz definicji rozmytej implikacji. W przypadku operacji rozmywania typu singleton otrzymamy

$$\mu_{Bj^*}(y) = \mu_{Ai \rightarrow Bj^*}(x^*, y). \quad (9)$$

b) jeden zbiór rozmyty  $B^* \subseteq Y$ .

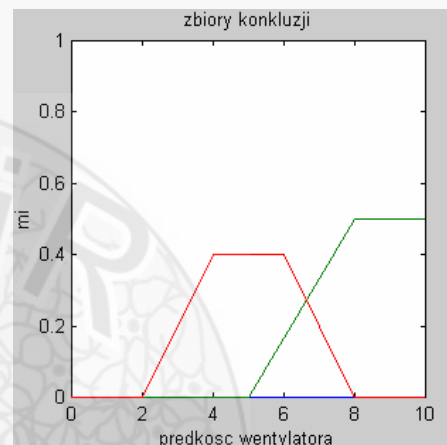
Dla przypadku b) najpierw określa się oddzielnie zmodyfikowane funkcje przynależności konkluzji  $\mu_{B_j^*}(y)$  poszczególnych reguł, a następnie stosując jedną z S-norm, np. operator *MAX*, określa się wynikową funkcję przynależności

$$\mu_{\text{wyn}}(y) = \text{MAX}(\mu_{B_1^*}(y), \mu_{B_2^*}(y)). \quad (10)$$

Stosując rozmytą implikację wnioskowania rozmytego uzyskujemy zbiory rozmyte konkluzji:

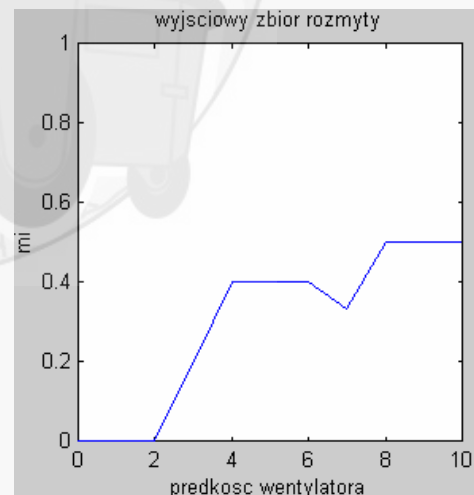
a) z zastosowaniem operatora *PROD*, otrzymamy:

```
consequent1 = (low_mf*dof1);
consequent3 = (medium_mf*dof2);
consequent2 = (high_mf*dof3);
plot(y, [consequent1;consequent2;consequent3])
axis([0 10 0 1.0])
title('zbiory konkluzji')
xlabel('predkosc wentylatora')
ylabel('mi')
```



b) z zastosowaniem operatora *MAX*, otrzymamy:

```
Output_mf=max([consequent1;consequent2;consequent3]);
plot(y,Output_mf)
axis([0 10 0 1])
title('wyjsciowy zbior rozmyty')
xlabel('predkosc wentylatora')
ylabel('mi')
```



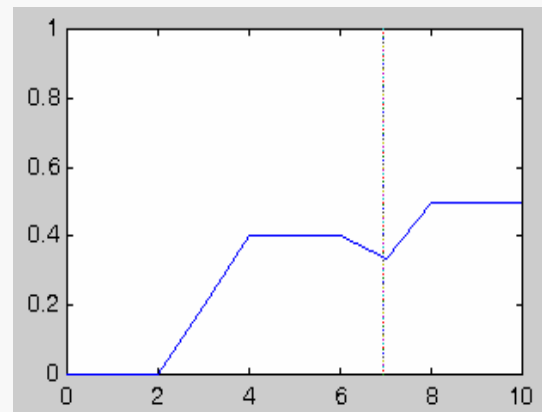
#### Ad.4. Defuzyfikacja (wyostrzenie)

Ostatnim etapem w modelowaniu rozmytym jest operacja wyznaczanie ostrego wyjścia  $y^*$ . W tym etapie przyjmujemy metodę wyostrzenia środka ciężkości wg. wzoru

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^K y_i \mu_{B^*}(y_i)}{\sum_{i=1}^K \mu_{B^*}(y_i)}, \quad (11)$$

gdzie  $K$  jest liczbą dyskretnych wartości,  $y_i^* \in Y$ .

```
type='centroid';
yw=[0:.01:1];
outy=defuzz(y,Output_mf,type);
plot(y,Output_mf,outy,yw);
outputs(temp)=outy;
```



Na podstawie przeprowadzonego modelowania rozmytego wykazaliśmy, że dla wartości temperatury = 72, prędkość wentylatora powinna wynosić  $y^* = 7.1$ . W celu uzyskania odpowiedzi dla różnych temperatur należy wprowadzić pętlę obliczeniową, w której dla każdej dyskretnej wartości temperatury otrzymujemy wartość prędkości wentylatora.

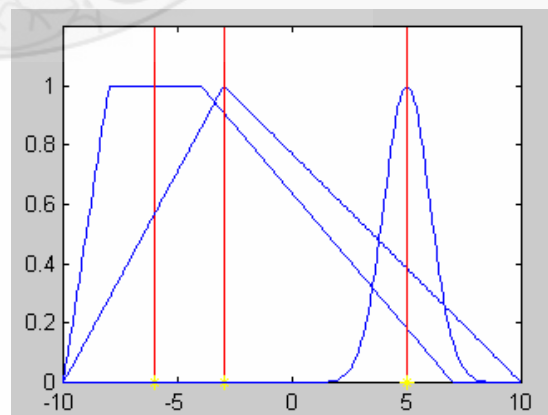
Jeżeli wyjściem bloku wnioskowania są trzy zbiory rozmyte  $B_j^*$ ,  $N=3$ , to wartość  $y^* \in Y$  możemy obliczyć za pomocą różnych metod np. metodą średniej maksimum (center average defuzzification). Wartość  $y^* \in Y$  wyznaczamy za pomocą wzoru

$$y^* = \frac{\sum_j^N \mu_{B_j^*}(y) \cdot y_j^*}{\sum_j^N \mu_{B_j^*}(y)}, \quad (12)$$

gdzie  $N$  jest liczbą zbiorów rozmytych konkluzji,  $j$  jest indeksem zbiorów rozmytych konkluzji,  $y_j^* \in Y$ , punkt  $y_j^*$  jest nazywany środkiem (ang. center) zbioru rozmytego  $B_j^*$ .

Tą metodę zrealizowano w Matlab-ie dla różnych zbiorów rozmytych, a listing programu pokazano poniżej:

```
%procedura Matlab CA defuzzyfication
x = -10:0.1:10;
%mf = trapmf(x, [-10, -8, -4, 7]);%trapez
%mf=trimf(x,[-10, -3, 10]);%trojkat
mf=gaussmf(x, [1 5]);%krzywa Gaussa
type = 'mom';%srednia max
plot(x, mf);
axis([min(x) max(x) 0 1.2]);
hold on
xx = defuzz(x, mf, type);
plot([xx xx], [0 1.2], 'r-'); plot(xx, 0.0, 'y*');
hold on
```

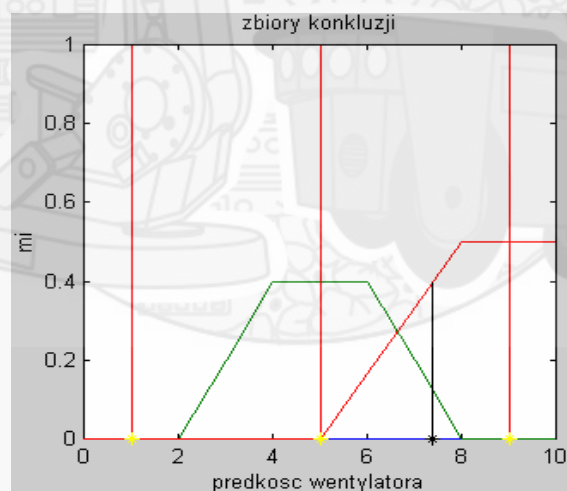


Rys. 14. Wyznaczanie położenia wartości  $y^*$  metodą średniej maksimum dla różnych zbiorów rozmytych

Stosując metodę średniej maksimów w naszym przykładzie, potrzebne są nam środki  $y_j^*$  zbiorów rozmytych  $B_j^*$ , oraz wartość ostra  $y^* \in Y$ . Wielkości te wyznaczono z następującego programu:

```
%procedura Matlaba CA defuzyfikation
c1 = (low_mf*dof1);
c2 = (medium_mf*dof2);
c3 = (high_mf*dof3);
plot(y,[c1;c2;c3])
axis([0 10 0 1.0])
title('zbiory konkluzji')
xlabel('predkosc wentylatora')
ylabel('mi')
hold on
%wyznaczenie centrów
type = 'mom'; % wyznaczenie centrów yk
xx1 = defuzz(y, low_mf, type);
xx2 = defuzz(y, medium_mf, type);
xx3 = defuzz(y, high_mf, type);
plot([xx1 xx1], [0 1], 'r-'); plot(xx1, 0.0, 'y*');
hold on
plot([xx2 xx2], [0 1], 'r-'); plot(xx2, 0.0, 'y*');
hold on
plot([xx3 xx3], [0 1], 'r-'); plot(xx3, 0.0, 'y*');
hold on

%wyznaczenie wartosci ostrej
yy=(c1*xx1+c2*xx2+c3*xx3)/(c1+c2+c3);
plot([yy yy], [0 .4], 'k-');plot(yy, 0.0, 'k*');
```



Rys. 15. Zastosowanie metody średniej maksimów do wyznaczenia wartości  $y^*$

Na podstawie przeprowadzonego modelowania rozmytego z zastosowaniem metody średniej maksimów na etapie defuzyfikacji, wykazaliśmy, że dla wartości temperatury = 72, prędkość wentylatora powinna wynosić  $y^* = 7.43$ .

## 7. Zadania do wykonania

Dla zadanej bazy reguł

- $R_1$ : JEŚLI (temperatura jest „niska” ( $A_1$ )) TO (prędkość wentylatora jest „mała” ( $B_1$ )),  
 $R_2$ : JEŚLI (temperatura jest „średnia” ( $A_2$ )) TO (prędkość wentylatora jest „średnia” ( $B_2$ )),

$R_3$ : JEŚLI (temperatura jest „wysoka” ( $A_3$ )) TO (prędkość wentylatora jest „duża” ( $B_3$ )).

wyznacz model rozmyty funkcji  $V_w=f(T)$  stosując:

- a) trójkątne zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Mamdani-ego **Min**, metodę wyostżania - **środką ciężkości**,
- b) trapezowe zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Larson-a **Product**, metodę wyostżania - **środką ciężkości**,
- c) trapezowe zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Mamdani-ego **Min**, metodę wyostżania - **center average defuzzification**,
- d) trójkątne zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Larson-a **Product**, metodę wyostżania - **center average defuzzification**,
- e) gaussowskie zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Mamdani-ego **Min**, metodę wyostżania - **środką ciężkości**,
- f) gaussowskie zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Larson-a **Product**, metodę wyostżania - **środką ciężkości**,
- g) gaussowskie zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Mamdani-ego **Min**, metodę wyostżania - **center average defuzzification**,
- h) gaussowskie zbiory rozmyte przesłanek i konkluzji, operator implikacji Larson-a **Product**, metodę wyostżania - **center average defuzzification**,

dla zakresu zmienności obrotów wentylatora  $V_w$  oraz zadanego zakresu zmienności temperatur chłodzonego elementu  $T$ . Dane dla poszczególnych zespołów przyjąć zgodnie z tab. 1.

Tab. 1. Zakresy zmienności poziomów obrotów wentylatora oraz temperatur

nr zespołu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
$V_w$	[0,5]	[0,10]	[0,7]	[0,3]	[0,8]	[0,14]	[0,20]	[0,6]
$T$	[0,50]	[0,80]	[0,40]	[0,200]	[0,60]	[0,60]	[0,120]	[0,80]

Należy przeprowadzić badania symulacyjne dla układu z logiką rozmytą, w pętli obliczeniowej wyznaczyć wartości poziomu obrotów wentylatora dla dyskretnych wartości temperatury z założonego przedziału co 1 st. C, przebieg zmian wartości obrotów wentylatora pokazać na wykresie.

**Sprawozdanie powinno zawierać:**

1. Wstęp teoretyczny
  - podstawowe wiadomości na temat układów z logiką rozmytą,
  - podstawowe wiadomości na temat funkcji przynależności do zbiorów rozmytych, metod fuzyfikacji, inferencji oraz defuzyfikacji.
2. Przebieg ćwiczenia
  - przebieg procesu tworzenia modelu rozmytego z opisem poszczególnych etapów,
  - wykresy funkcji przynależności do zbiorów rozmytych dla wejść  $x$  (temperatura) oraz wyjścia modelu rozmytego  $y$  (obroty wentylatora),
  - bazę reguł modelu rozmytego,
3. Wyniki symulacji
  - przebieg wartości obrotów wentylatora w zależności od temperatury.
4. Wnioski

Uwaga. Każdy realizowany podpunkt sprawozdania powinien być odpowiednio skomentowany.